

環境の世紀 13 第 6 回講義(2007 年 11 月 26 日)
「容器包装リサイクル法と PET ボトルリサイクル」
東京大学工学部化学システム工学科 平尾雅彦先生(1 回目)
講義録

0.はじめに

みなさんこのゼミの中で容器包装リサイクル法、いわゆる容り法というものを学んでもらっていると思います。今まで寄本先生と山下先生の授業を受けてこられたかと思います。寄本先生は大先生でいらっしゃるの、容り法について過去からの経緯とか政策的な問題について色々とお話がいただけたのではないかと勝手な想像ですけども思っています。私は、むしろ工学部の化学システム工学ですので、技術的な面とか、リサイクルによって環境影響が本当はどうなるのかについて研究テーマにしています。研究以外に容り法というのに直接関わって仕事もしているの、そのことについてもお話したいと思います。

まず今週は PET (ポリエチレンテレフタレート Polyethylene Terephthalate) について説明したいと思っています。容り法について既にいろいろ聞いていると思いますが、容器包装で割合が大きいのはその他プラです。その他プラっていうのは何だかよくわからない言葉なのですが、容り法用語でその他プラというものがあっていわゆる容器包装全般です。それと別に PET というものがあって PET については別に集めましょうということになっているわけです。それについてもいろいろな研究・調査もしてきているのでそれについてお話したいと思います。

0.1.自己紹介

まず、私がどういう人間かということを紹介しておきたいと思ひまして、スライド 2 ページ分ぐらい自己紹介というのを書いてあります。私自身もこの東京大学の卒業で、化学システム工学科というところに今おります。そこは昔私が学生だったころは化学工学科という学科でした。昔は、化学会社っていうところは科学の研究って言うと、試験管とかフラスコの中でいろいろ混ぜて新しい物質を作ることが科学にとってとても大切なこと、新しい物質を作り出してそれを社会に役立てていくことが大切だったのです。一方でそれをどうやって作るか、作るかっていうのはみなさんが、たとえばこのプラスチック一つでも、試験管で作っているわけではないですよ、化学工場で作っているわけです。試験管やフラスコで作るのと化学工場で作るのとは全然とまでは言わないがずいぶん違うわけです。皆さん、たとえば東京湾岸とかに遊びに行ったりとか工場、色んな塔が立っていたり、配管がグニャグニャ走っていたりしたりするのを見たことがある方もいると思います。電車に乗って新幹線なんかに乗ったら見えるときがあります。そういうところは化学工場、そういうところでは試験管とかではなくて大きな装置で石油の一部みたいのを流

してどんどんプラスチックを作っています。

化学工場と言うのは、化学屋さんがこれとこれを混ぜたらこういうものができますよと調べたら、ぱっとできるわけではなくて、色んな装置を設計しないといけないのです。それは機械屋さんの仕事ではなくて実は化学工学といって化学とはちょっと違う学問なのですけど、その分野のお仕事です。私は化学工場を設計するのがもともと大学時代の専門だったのですよ。

私は博士が終わった後、日立株式会社でシリコン・ナノ粒子、物理の仕事をしていました。会社に9年ぐらい務めた後、化学システム工学科というところに戻ってきました。

今化学システム工学科にいて、化学製品なんかの環境影響、化学プラントをどうやって作るかということをやっています。昔は安く作ればよかったが、今はいかに環境によい化学プラントを作るかを主としています。

化学工場のところで公害を出さないというのは当たり前です。日本では公害はだいぶ改善されていますが、自分たちが作ったものがどれくらい環境に影響を与えているかというところまでまだ目が及んでいない。

たとえばプラスチックを作ってごみになっちゃった。作ったのはうちですけど知らないよというわけにはいかないのです。作ったプラスチックをどうやったらリサイクルできるか、どうやって環境負荷の少ない製品を社会に提供できるかということを考えていかなければいけないのです。プラントを作るときにも。

今日のお話に関係するところで、何でこんなところに立たせていただいているかというところ、容リ法に関するところで仕事をさせていただいてまして、寄本先生がお話したと思いますが、容リ法というのは今いろんな改定をして、どうするべきかという議論が継続的に行われているのです。それは経済構造審議会というやつと中央環境審議会という会議で環境省と経産省と一緒に議論しています。その中に環境部会というのがあって、その中にまたいろいろある中で私は「プラスチック製容器包装に係る再商品化手法検討会委員」と言うのに所属しています。

それから来週紹介しようと思うのですが、PET じゃなくてその他プラのリサイクルについて、リサイクルしたときにどのくらい環境負荷が改善されるかあるいはかかるかについて定量的な評価をするような仕事もしたりしています。

それから、今回のテーマにはあんまり関係ないのですが、プラスチック製容器のリサイクルした後の製品を買ってください（グリーン購入品目検討会委員）というのもやっております。

こちらは皆さんに関係あると思うのですが、エコマーク類型・基準選定委員会と言う仕事もやっております。あと、今日のテーマともやはり関係ないのですが、植物からできたプラスチックにかかわる仕事もしております。

グリーン購入法は国がどう買うかですが、NPO で企業や自治体のグリーン購入についてデータベースを作ったり議論したりしています。

ですから、経歴からみると物理のことなんかもやっていたんですが、今はこういうまさに今日のテーマであるリサイクルをどうするかというのが今の私にとって大きな興味となっています。

0.2.PET ボトルリサイクル

ということで、前座だけでずいぶん時間をとってしまったのですが、今日のテーマとしては PET ボトルのお話をしましょう。PET ボトルを見たことがないという人はいないと思います。普通の授業なら机の上に PET ボトルが出ているのですが、今日は幸いか残念か PET ボトルが机の上ののってないのですね。さすがというべきか。

PET ボトルを見たことない、買ったことないって人はおそらく絶対いないと確信しているんですが、この PET ボトルのリサイクルがどうなっているのか、法律の話よりもむしろどういう風に具体的にどう回っているのかと、その回った結果としてどんな良いこと悪いことがあるのかなってというお話、最後にちょっと容リ法との関係について議論ができればいいなと思っています。

幸い 2 回時間をもらっているので今日全部話せなければ来週また続きを話そうと思います。

1.リサイクルの分類

1.1.クローズドリサイクルと.オープンループリサイクル

リサイクルって言うと、いろんな意味、いろんな何とかかんとかりサイクルっていうのがあります。たとえばマテリアルリサイクルとかケミカルリサイクルとか、サーマルリサイクルとかいうお話があったかもしれません。リサイクルって分類がとっても大好きな業界でして、法律でもいろいろと分類があるのですけれども、今日ここで見せている分類というのはちょっと違うやつです。「クローズドリサイクル」というのと「オープンループリサイクル」というのをちょっとどんなものかお話しておきたいと思います。後の話にも関係してきますから。

1.1.2.閉ループ（クローズド）リサイクル

今たとえば、新品の素材 a（小文字が素材で、大文字が製品）、たとえば石油からできた PET（化学物質、プラスチックの種類、ポリエチレンテレフタレート）を作りました。石油から PET 樹脂、PET 樹脂から PET ボトルにしました。これが使い終わってどうするかということなのです、一番単純にはそのへんに捨てるということなのです、よく町に転がっていると思いますが、だいぶ減りました。

一方でこれを燃やしましょう、プラスチックですから簡単に燃えます。燃料にしたりし

て。かさばりますからね、こんな 30 グラムぐらいなのに 500ml もスペースもとりますから、燃やしてなくしてしまえというのも一つの考えです。それで、多くの皆さんがイメージするリサイクルっていうのはだいたい、ペットボトル使い終わりました、ではこのまんまおなじボトルに戻ります。一番皆さんが思っているリサイクルそのものですよね。というと、これは流れがこうグルグルグル閉じた流れになっていて、閉ループリサイクルというものです。(スライド p6)

ペットボトルからペットボトルになれば理想的だと、こういうクローズドループになるわけですね。だけど、後でお話するように必ずしもそうはなっていないわけです。こういう風にぐるぐる回っているわけですから、みなさんが 100 本使えば 100 本ペットボトルができる。そうすれば、石油も使わないしゴミも出てこない。という理想的な状況にあります。しかし、こう見てみると、リサイクルするとどんどん新品の素材が減っていきます。それから、廃ペットボトルも減っていきます。大事なことは、リサイクルするのにエネルギーがかかるということです。

たとえば、このペットボトルをもしペットボトルとしてもう一回使おうというと、みなさん個人ではやっている人も多いかもしれませんが、水筒代わりになりますもんね。だけど、すこしは ゆすぐよね？水道水でね。洗剤で洗う人もいるかもしれない。そうすると、水道水使う。水道水を使うというのは、まあ地球からいきなり水道水レベルのものが出てくるということは東京では少なくともないですから、浄水場で、電気エネルギーとかいろんなものをかけてきれいにし、その水は電気エネルギーを使って圧力をかけて皆さんの蛇口から出てくるので、それだけで水を 100ml 使う。だから、さっき言ったように回すためにどのくらいエネルギー使うかこの青の矢印と赤矢印の具合にすごく依存するということはだれがみてもわかります (スライド p7)。この青の矢印がそんなにたいしたことなくて、赤の矢印がぐんと伸びてしまうと一生懸命これを皆さんがきれいに洗って、誰かが排気ガスを出しながらこれをトラックで遠くまで運んで、どっかですごい電気と石油を使いながら、やっとまた一本ペットボトルに戻ったね、と言ったらなんだろうなということはお想像つくと思います。これが閉ループリサイクルで考えなければいけないこと。

1.1.3.開ループ (オープンループ) リサイクル

次はですね開ループリサイクルですね。というよりも、ループって入っているのもちょっと変な気がしますが、これは 2 つの別な製品が、2 つとも PET 樹脂でできているとしましょう。たとえば、この PET ボトルと、PET ボトルからできている卵パック。ここにエコマークが付いているのは、再生 PET 樹脂を使っていますということです。プラ循環マークの下に PET って書いています。ほとんど善良 PET ボトルから作られているのです。その時はですね、PET ボトルだったのに卵パックになってしまいましたから、閉ループとは言わないです。このように、PET ボトルから何かして卵パックができました。そうすると、

何が嬉しいかという、さっきと話が一緒ですが、減るのは a の製造と A の処理じゃなくて、b の製造と A の処理だとわかると思います。PET ボトルはこっち（上の青矢印）に流れていきますからここは減っていきます。だけど、PET ボトルはもう PET ボトルから作れないのでずっと新しい商品を作らなくちゃならない。100 本欲しかったら、ずっと 100 本分石油から作りつづける、だからさっき閉ループのときは減り続けるのだけど b の製造量は減らない。卵パック、これたまたま PET 樹脂なのですけど、やっぱり卵パック分の PET 樹脂を作らないですんだのです。PET ボトルから来たので、新品の PET 樹脂を使ってこれを作らなくても良いということです。でもこれは、実はですね、B のごみを減らしてくれないのでこの量は減りません、もちろんごみにならないかもしれませんが。これ自身もリサイクルできますから。これの処理は変わらないです。だから、今度は青矢印 2 つと赤矢印の差を見ないといけません。

1.1.4.LCA（ライフサイクルアセスメント Life Cycle Assessment）

ここが実は今日私がお話をしたい LCA（ライフサイクルアセスメント）という物の考えの基礎です。これだけ、この矢印の長さをどうやって測ったらいいかなってということがライフサイクルアセスメントですね。で、赤が大きすぎたら嫌だな、青がずっと大きいと多少赤がかかっても良いなというお話ですね。これだけちょっと覚えといてください。

2.ライフサイクル

2.1.PET ボトルのライフサイクル

本題に入りましょう。PET ボトルのリサイクルをするという時に、最初のところの石油の消費は減るのだと、あとちょっとここには書いていませんが、ほんとにごみは減るのかっていうのとリサイクルで今一番大事なのは、おそらく CO₂ です。CO₂ が減らせるのか。まあ、CO₂ だけじゃなくても地球温暖化に関係するガスが減るのかな。この 2 点だけみても、ほんとかなって思うわけです。さっきの赤い矢印のこと忘れてしまうと、減ったように見えるのだけど、赤い矢印のこと考えるとほんとかな？ということで、まず、知るべきことは PET ボトルってどこからくるかですよ。このゼミを取っている皆さんは PET ボトルのポイ捨てなんてやらないと思います。おそらく皆さん、PET ボトルを入れるべきところに入れていきますよね。一つどこへ行くのかっていう例はもう示してしまったのですが、どこから来てっていうのは漠然と石油から来てっていうのは知っていると思います。皆さんが PET ボトルを買って、捨てて、下流になって、最終的には廃棄物になるのですが、燃やすとエネルギーになり、この中には、C と H と O が含まれているので、二酸化炭素と水が生まれてきます。

これライフサイクルなのですが、地球から石油として生まれてきたものをみんなが何らかの形で利用して地球にこういう形で返してあげる。ありがたくないかもしれませんがね。地球から取って地球に何を返しているのか、その間に私たちは何をやっているのか、これ

がライフサイクルになってくるわけです。(スライド p10、11)

2.2.ペットボトル製造の流れ

2.2.1.リフォーム

ここまでお話すると何となく、次の質問に意味がわかると思うのですが、この PET ボトル見たらですね、これ何でしょうって質問です。試験管？実験室から取ってきました？なぜかPETボトルのキャップがちゃんとできるのですよね。なぜでしょう？実は、これがPETボトルのこの形になる直前です。口のあたりから、厚みが変わっているのがわかると思います。実はそれを加熱して溶かしてふくらませますのですよ。PET ボトルのリフォームっていう言い方をするのです。PET ボトルを一回溶かして固めて、試験官のような格好に成型します。溶かす時に中に微妙に厚みの違いを作るのがポイントなのですけれど、これをプリフォームといいます。このプリフォームをいったん 100 度まで加熱します。いったん PET 樹脂を作って溶かして固めて、また溶かします。そして、この PET ボトルの金型に、棒をいいスピードで差込みながらここからガスを送るのですよ。そうすると、単純に言えば風船です、風船を膨らますようにこれを作るのです。こういう風に、厚みの差というのは、リフォームした後に厚みが一緒になるためなのです。勿論これは一個一個やっているのではなく、工場では、機械の中を見えないぐらいのスピードで、秒以下の単位ぐらいで一個ができていますよ。もう、すごい勢いでできています。(スライド p13)

2.2.2.PET 樹脂の製造

では、その前どうなっているかっていうと、まさに石油から作った、テレフタル酸とエチレングリコールをくっつけます。その前は、石油をナフサっていうのに分けるのにエネルギーを使います。ナフサからパラキシレンと言うのとエチレンと言うのを作るのにエネルギーがかかります。で、パラキシレンをテレフタル酸にするのにエネルギーがかかります。(スライド p12) 重合させるのにもエネルギーがかかります。重合させたのがどんなふうになっているかという、持ってきています。棒状にできた PET 樹脂をカットして固めたものです。さっきのプリフォームに溶かして固めて溶かして固めて、だから、PET ボトルができるまでにずいぶんエネルギーがかかっています。だから、これ 30 g ぐらいなのだけど、実は石油 60 g ぐらいを使っています。そのうち 30 g は PET ボトルとして残るけど、あとの 30 g は燃えちゃうのですね。という話です。ちょっと単純すぎて申し訳ないです。

2.2.3.その後

ここに又ジュースを入れて、運んで、コンビニに行って冷蔵庫ですっと冷やされて、そしてみんなが買ってだよね。そのくらいエネルギーがかかるのです。ちょっとそこまでちゃんと調べてないのですが、そういうのにもライフサイクルのなかではエネルギーを使

っているのです。自動販売機もそうです、皆さんおいしく飲むために冷やしています。

余談として、PET ボトル実は種類があつて、炭酸型と非炭酸型の2つでちょっとPET樹脂が違う。硬さが微妙に違います。お茶のほうがちょっと硬い、炭酸のほうがちょっと柔らかい。炭酸は膨らもうとするのでしっかりしているのですが、お茶のほうがつぶすと潰れちゃうものですからちょっと硬い。そうしたちょっとした違いもあります。

2.3.PET ボトルリサイクルの流れ

2.3.1.リサイクル後の製品

で、みなさんの手元にやってきました。飲みました。PET ボトルを捨てました。リサイクルされて何になっていると思いますか?また、PET ボトルになっていると思いますか?正解は、少しはなっています、日本ではね。それ以外どういうものになっているか。ネクタイ、私のしているやつは絹ですが。これやはりエコマークが付いています。もう一つあるのですが、こちらはPETリサイクルマークというのが付いています。で、後はこういう卵パックとかになっています。名刺とかにもなっています。あとは、いろんな網とか、繊維とか、最近よく見かけるのはガソリンスタンドとかにあるのぼりみたいな旗もPETリサイクルのものが多いですね。

使用後どうなるのかというのは先に見せてしまいましたけど、そういう繊維製品とかこういうものになっていますけれども、インターネットにこういう写真はたくさんあるんでみていただければいいと思います。(スライド p36)

2.3.2.PET ボトルの回収

これは自治体で回収したものなのですが、このくらいの大きさの真四角のペール、真四角のPET ボトルの塊にするのですね。これは皆さんの住んでいる自治体がやっています。これが自治体の役割です。容り法でいう自治体が回収してちゃんとソーティングするという仕事の、PET ボトルに関して言うと、ここまでやるのが自治体の仕事になっています。実はこれすごい圧力で固めて、PET ボトルだけっていう塊を作ってリサイクル業者に出荷しています。容り法ではこれが容り協というところを通して再商品化をするところに流れていきます。どんなところに流れていくかっていうと、これは都内の東京湾の近く東京PETボトルリサイクル株式会社っていう工場の敷地です。(スライド p15) これは10年前(1997年)の写真です。緑色の点が見えると思いますが、これは緑色のボトル。最近見ないと思うのですが、お茶のボトルとか昔は緑色がいっぱいありました。容り法とは直接関係ないのですけれど、業界団体が日本ではPETボトルを透明にしますと決めたのですよ。だから今どこの会社のものを買ってもすべて透明なPETボトルなのです。これは偉大なのですよ、あとで話しますけど。環境に優しそうなヨーロッパで買ってくると必ず色が付いています。ベルギー、ドイツ、スイス、イタリア、中国・・・。もう一つ大事なものは、日本のPETボ

トルはほとんど紙ラベルがないです。はがしてみるとわかるのですが、外国のものはのりでべったりとついていて残ってしまうと洗っても落ちないのですよね。日本はミシン目がついて取れるようになっていて残っていますよね。皆さんとっていますか？これも日本のすごいところなのです。PET ボトルに関して、色が付いてない、ラベルがくっついてないというのは日本だけです。この真っ黒の PET はどこののでしょうか？中国ですね。おそらくこの黒いのは、あんまりよくない PET 樹脂を使っていると思うのですが、紙もべったりくっついていて残っています。買ったのもだいぶ前なので現在どうなっているかはわかりませんが。

これがちょっと前だったのですが、今は回収すると全部透明な PET ボトルです。(スライド p17) 少し緑のものが見えるのはラベルです。お茶のラベルほとんど緑色なので。こんな感じでベールを積み上げています。同じ会社なのですが、これは今年の写真で屋内にしまうようになって残っています。汚れちゃうのでね。でも、これとってもきれいです。こういうのも集まってきます。(スライド p16) 何がいけないかって？中に液体が入っています。ほとんどキャップがついて残っていますね。こうやってエネルギーをかけてつぶすのに蓋をつけていてつぶせますか？東京のコンビニで集まってくる PET ボトルはこんなものです。なんとなく想像つくでしょ。東京都の場合は集め方が特殊で区によって全然違いますが、みなさんも飲み残しをしたり、ふたをつけたままでぼんとリサイクルしたとやったりしているかもしれません。で、まじめにやっているところがこれくらいです。(スライド p18) 実は、集められた PET ボトルには A,B,C,D の評価がつくのです。地域によってついていて、これは明らかに D ですね、こちらはおそらく A ですね。地方都市の PET ボトル回収は素晴らしいですね。町全体で頑張りましょうとしているわけですからすごくきれい。ラベルも全くついていませんし、キャップも付いてない。集まってくるのにもこれくらいの違いがあるのですよ。現場ではこういう PET ボトルもリサイクルとして扱わないといけないのですよね。法律と別に、集まってくるものはこういうものだという事は覚えておいてください。

2.3.3.PET の選別

回収する場所では何が起きているか、こうやってばらしていきいます。まず、分別しないといけないので大変です。ここでは X 線とか赤外線照射して書いています。光を当ててどういうプラスチックかを判断するわけですね。変なものが入っていると、アウトとなるわけですね。もっとひどいのが、これですね 100 円ライター、電池。どこのリサイクル工場に行っても必ずあります。あとは、ハンガーや金属などは必ずあります。最後はこれです。手ですね。ベルトコンベアーの横で人が不純物をとります。(スライド p19~p26)

2.3.4.PET の破碎、選別

見にくくて申し訳ないのですがすごく細かく切ります。(スライド p27) 細粉碎機というのですけれども、PET ボトルが裁断されフレークというものになります。そのままですと

汚いのですよ。中にいろんなものが残っていたりしますので洗います。これが、洗ったり脱水していたりするような機械なのですけれども、バーって切って一番出てくるのは首の輪とキャップなのです。(スライド p28) これらは PET ではなくてポリプロピレンというちょっと違うプラスチックでできています。キャップの切れ端はちゃんと集まるのです。PET 業界の規制で、キャップはポリプロピレンかポリエチレンじゃないとダメですと書いてある。どうしてかという、PET は水に沈むのですよ。キャップは水に浮くのです。で、たとえばキャップが水より比重が大きいプラスチックで作られちゃうと分別できないのですが、業界の基準でポリプロピレンかポリエチレンなので必ず浮くんですよ。だから、水につけると、PET の碎片は沈んで、キャップの碎片は上に浮きます。だからこういう分別が簡単なものは混じっていて大丈夫。だからこの首のところわざわざとらなくていいっていうのはこういうことなのです。(スライド p30)

で、あとですね、風で浮き上がるものだけ取り出します。PET は重たいので風の中でも落ちこちてくるのですね。ラベルは風に浮き上がるので分別されます。

2.3.4.再加工

よく洗ったあとこういう風に詰めなおして、これだいたい一袋が600~800kgぐらいです。(スライド p33) 一本の PET ボトルが30g ぐらいですから、ずいぶん沢山ありますね。ここにトラックがあって、トラックに10本ぐらい積んで出荷します。さっきネクタイを皆さんに見てもらったと思いますが、あの樹脂を溶かしてもう一回繊維としてあげるということをしますね。目に見えないぐらいの小さい穴を通して下からすごい速さで引っ張ります。そして、ポリエステル繊維と呼ばれるものになっていきますね。(スライド p35) で、こんな服になっていきますね。

糸にしないでこれを溶かしてのばしてシート状にして、熱で加工して型をとってシート繊維というものもっています。卵パックなどはそうですね。

これはさっき言った開ループリサイクルの状態なのですよ。

2.4.PET 樹脂の劣化

で、ここでよく見てほしいのですが、最初の PET 樹脂とリサイクルされた樹脂を見比べてみてください。特に色の違いを。石油からできたものと、PET ボトルのリサイクル後の樹脂とどれくらい違うか。さっきみたいな機械で頑張って洗って、ゴミも取り除いて、もともと透明だったものから作ったのですが、見てもらえばわかるんですが新品とは格段に違いますよね。色がついていますよね、黄色っぽい、茶色っぽい。これはもう目で見てわかると思います。残念ながら、PET ボトルからもう一回作った PET 樹脂から PET ボトルを作るとこんなにきれいなのはできないのですよね。というのともう一つは、今の操作を通っただけで、ボトルにしてジュース入れましたっていうとみんなが何となく、まだ汚いものが入っているのではと思うもので、現状ではこのルートを通して PET ボトルはで

きてないのですね。ですからこの、今このお見せした容り法の仕組みの中で、ほとんどがこの開ループで再商品化商品が作られています。

3.PET ボトルリサイクルの現状

3.1.PET ボトルの生産量と回収量

これもおそらくどなたか先生がお見せになったかもしれませんが、PET ボトルが今70万t近くが製造されていると思うんですけども、現在の回収率は、いろいろなものを足してたしていくと、7割近くが回収されているといわれています。(スライド p37) この赤い線の市町村回収率ですが、こっちがいわゆる容り法対象のもので、この幅が容り法外のPET ボトルです。

3.2.中国へのPET 樹脂の輸出

これについては、誰かお話したと思いますが、回収しているのに容り法に入っていないのは、今この茶色くなったPET 樹脂ありましたよね、あれでも高く売れるのです。それとあの刻んだままの状態、切っただけのフレーク、あれも高く売れるのです。どこに売れるのかというと中国。中国がたくさん買ってくれるものですから昔はお金をつけて渡さないといけなかったのが、今は引っ張りだこで最初のベールですら昔はこのリサイクル業者さんですねこれを1t数10円もらってリサイクルしていたのですよ。今年(2007年)40円払わないと手に入らない。飲み終わったゴミの、廃棄物のPET ボトルですら40円払わないと手に入らない。というのは、この東京PET ボトルリサイクル株式会社が買わなくても中国の人が買ってくれるものですから。地方自治体は容り法の世界では自治体が容り協を通さないで自主的な方法でリサイクルに回していることになっています。自治体にとっては、容り法だとタダでモノが言ってしまうのに、中国系に流すとお金がもらえるのですからそれは売りますよ。ということで、今大量に60パーセント以上回収されている中のかなりの割合が中国に行っているだろうといわれています。その話をやりだすと技術の話から離れちゃいますからパスしますけれども、まあそこが容り法とPET の関係ではいちばんホットな話題です。ここが一回下がっているのは、その影響です。

前回出た容り法の改正の中に付帯として、容り協になるべく流しましょうというのは書いてありますが、お金という面では背に腹は代えられないということかもしれません。

4.日本のPET ボトルリサイクル

4.1.PET ボトルとその他プラ

PET ボトルというのはみなさん分別をしています、はっきり言うと、こういう輸入されている色つきのPET ボトルがあるのですが、それはその他プラに入れてしまったほうがいいと思います。業者さんによると青いやつが少し入ると糸が光るといっているのですが、基本的には、日本製の透明なボトルだけを回して、こういうものはその他プラの中で

処分したほうがいいです。実際問題として、これは容り法の対象にならない。PET でできていて循環可能なのですが、容り法の対象になりませんので。容り法は厳密な規定がありますので、卵パックに使った PET 樹脂もリサイクルに入れてはいけないことになっていて、プラマークが付いているものはその他プラに出しましょうということになっていません。

で、こういう風に PET ボトルのリサイクルの仕組みがあるのですが、ほとんどがマテリアルリサイクルという仕組みであります。今日本で、ついこの間ニュースでありましたが、どっかがリユースをやりだしたというのがやっていました。飲み終わったら返してください、洗浄してもう一回使いますというのをやった NPO か自治体かあったと思います。ドイツでは従来からやっています。日本では今までは全く、個人レベルではやりますけど。今はほとんどマテリアルリサイクル。ボトルにもちょっとはなります。飲料用のボトルにはできないので、家庭用の食器洗剤容器というのがあります。これも PET のリサイクルには入れてはいけないということになっていて、ボトルからボトルなのですがやっぱり閉ループになっています。

4.2.ケミカルリサイクル (スライド p41, 42)

日本では PET ボトルの一部分が PET ボトルに戻っています。ケミカルリサイクルというものになります。ちょっと難しい言葉が書いてありますが、さっき PET ボトルがテレフタル酸とエチレングリコールの重合したものですよと言いました。それをいっぺん引き離してテレフタル酸とエチレングリコールに戻してあげると、化学工場にそのまま戻してあげることができますね。いくつかの方法があって、この工場が日本に 1 か所あります。ジメチルテレフタル酸というちょっと違うものに戻している会社が、工場が 2、3 か所あります。BHET というのに戻している工場が 1 か所あります。皆さんのうちの PET ボトルの本当にごく一部分だけなのですが、さっきのフレークのような状態にした後、化学的に溶かしちゃうのですよ。で、また PET の原料に再利用するという道があります。それはですね、分子の長い鎖を切って最初の状態に戻して、これはとてもきれいな状態に戻せるので、もう一回 PET ボトルにできます。これが日本独自の技術で、こちらのルートもやはり存在していて、テイジンという会社が山口県でやっております。アイエスっていう会社がやっているものですから、アイエス方式とも呼ばれますが、こういうふうな化学的なリサイクルの方式もあります。これはクローズドリサイクルになっています、ボトルからボトルになっていますので。また、この技術を利用してボトルからきれいな繊維を作るという工場も四国にありまして、そのようなルートもあります。

4.3.リサイクルを回す容り法

技術的には PET ボトルのリサイクルといっても今日お見せしたようにいろんな技術が中にいっぱい入っています。洗ったり、分別したり。それから消費者がいろいろしたり、自

治体がいろいろしたり、この東京リサイクル株式会社が一生懸命洗ったり、それを運んで、それをまた繊維にする工場があったり、すごくいろんな人がかかわってリサイクルの仕組みが動いているのですね。それを何とか法律によって回そうと考えているのが、容り法ということなのですね。

Q&A 1

何か今までの技術のはなしで質問とかありますか？

Q. ペットボトルをリサイクルした後のやつが黄色くなっているのは何でなんですか？

A. ひとつは、汚れがどうしても残ってしまうということと、もう一つは溶かして加熱たりとカを繰り返していくと分子が一種の焼けている状態になってしまっていて、カーボンだけ析出してしまってきたりするので、純粋な PET 樹脂だけじゃなくて破片みたいなものがカーボンとしてあらわれてくるみたいですね。

余談

ホット用の黄色いキャップのペットボトルは3層構造になっていて、耐熱性を得ている。PET 樹脂の間にナイロンを挟んである。リサイクルすると色がつくようですね。極端に量が増えるとどうなのでしょうね。

5.LCA からみた PET ボトルリサイクル

5.1. ライフサイクルアセスメント

これで最初の話に戻ります。今頭の中に、PET ボトルがどういう風な流れでリサイクルされているかが出来上がったと思います。あれがライフサイクルです。ですから、このリサイクル方式はいい悪いと比較したときに、私どちらかとは言えない。なぜ言えないか？最初の話に戻しましょう。それをやるためにどれだけのエネルギーがかかっているのか、結果としてどれくらい石油を使わないですんだのか、廃棄物が減ったのかちゃんと調べないといかんですよね。それがライフサイクルアセスメントと呼ばれているものです。ライフサイクルアセスメントっていう言葉は聞いたことありますか？あんまり説明をされた機会とかはないかもしれませんね。私がほかの総合科目とかでしゃべっているのもそこで聞いたのは別として、一般には言葉ぐらいい聞いたことあるかもしれないのだけど、具体的に何というとな難しい。石油から樹脂ができてボトルができてリサイクルして最後に燃やすところまでを考えましょうということ。で、それをさっきの青い矢印はどれくらいかなと実際に計算して評価してみるというのがライフサイクルアセスメントです。もう、難しい話は飛ばしましょう。

5.2.PET ボトルの LCA

見えにくいと思うのですが、キャップ、ボトル、ラベル、溶剤と書いています。(スライド p47) ボトル一本ができるまでの原料を全部さかのぼって、どのくらい石油を掘ってきましたかというのを全部調べるのですね。ポリプロピレン作るのにどれくらい原料使いましたかとかキャップ一個作るのにどれくらい原料使いましたかとか全部データをもってきてみます。もう一つは、どれくらい入っただけではなく、どれくらいエネルギー使いましたか、どれくらい燃料使いましたか、どのくらい石油を燃やしましたかということも全部聞きます。どのくらい水を使いましたか、どのくらい排気ガス、排水を出しましたか、全部この石油会社、化学会社、ボトル会社、充填会社から聞いていくのですね。ラベルも同じです。ここに一個ジュースが入ったボトルができてくるまでにどのくらい石油が使われたかを計算することができます。でも、まだ全然リサイクル入ってこないのですが、みなさん消費します。実は消費の中に飲み物を冷やしたり温めたりしておくエネルギーも本来計算するべきですし、ジュース工場からコンビニあるいは自販機に車での輸送も計算するべきでしょう。で、みなさんから回収します。回収するのにやっぱりトラック使いますよね。こちら側は燃やすルートです。燃やされて灰が埋め立てられておしまい。これが一つのルート。もうひとつこちらに流れていくのは、フレック化というのをして、繊維化します。本来はその再商品化製品がどうなっているのかまで書かないといけないのですが、ここでは PET ボトルのことだけ書いています。もうひとつ、ガーッと流れてさっき言った閉ループリサイクル。これが今日本では多く行われています。一方さっき皆さんにお話しした通り、ボトル回収して、工場に運び込まれると PET ボトルを作る樹脂のところまで分解されます。そこからですね、さっきのボトルにする会社に運んで出荷してもらう。それから、こっちのこのループに回ってくるとテイジンがやっている閉ループリサイクル。

問題はさっきから言っている通りこう回すことによって、ここで廃棄物の処理をどのくらい減らしたか、ここで新品の石油からボトルを作ることをどのくらいやめることができるか、それにくわえ、各点でエネルギーを使った分を調べてあげて、計算します。

5.3.ユニットデータの例

今週は概略だけにしときます。(スライド p49) PET Resin Plant と書いていますが、樹脂を作るのに TPA (Terephthalic Acid) と EG (Ethylene glycole) の化学物質を反応させて PET にしました。0.67 k g と 0.45 k g の物質を足して 1kg の物質ができますよと。その時に減る重油エネルギー源にこのくらい必要です。水が 4 k g 必要です。加熱用にスチームも必要で 1kg。かき混ぜたりする電力がこのくらいかかります。ここで、1 k g の PET を作るのに、原料以外に重油や水、電気が必要となりますので、これを作るのにまた石油とカ石炭が使われているはずですが、ここで重油を燃やすので、CO₂、NO_x、SO_x も出るわけです。(スライド p50~p53) PET 樹脂を作るだけで、物の出入りとしては原料と製品だけではなく、そのおまけがいろいろついていく。いろいろなものを使わなくてはいけない

し、いろいろなものが出ていく。ここが大事ですね。さっきのつながりの表も一個一個の箱でどんなおまけを出しているか調べないといけません。今日はちょっと結論だけ、結果としてはですね、エネルギーで言うとこれ実はですね、マテリアルリサイクルというものはですね、この黒い線で引いてあるところ、これは実際1kgペットボトルをリサイクルするとこのくらいエネルギー消費量が減りますよと。みんなが一本のPETボトルを飲むということは変わらないですけど、その結果として繊維を作ったりいろいろしたりしてめぐって、一本あたり20MJぐらい市場でエネルギーを減らす。マテリアルリサイクルほど下がらないのですが、ケミカルリサイクルでもエネルギーの消費は減るという結論が出ています。しかし、実は減った分が最初のほうのスライドで見せた青い矢印です。このボンと飛び出た部分がリサイクルによって増えた分ですね。これの足し引きで実際のエネルギーの消費が出ています。だから案外きわどい。リサイクルするのにもう少し、たとえば輸送がものすごくかかればこの線が上に行くかもしれない。というような、無駄をしなくなった分の減った分と、回すのにかかった分のバランスが大事ですよ。で、マテリアルリサイクルっていうものはですね、案外効率がいいというのは計算で分かっています。ただ、できるのは閉ループリサイクルですのもう、ボトルには戻れない。ケミカルリサイクルはかなり率悪いですね。高率悪いっていうのはリサイクルしたのために得た分がこれしかない。一見これだけ減ったように見えるけど、回すのにこれだけかかっているんで、これしか減らない。全体ではマテリアルリサイクルのほうがいいかもしれないということになりますね。つまりLCAで見るとマテリアルリサイクルの方がいいように見えますね。ただし、システムが違う。こちらはネクタイみたいなものしかできない。ケミカルリサイクルでは閉ループで回っている。つまりPETボトルからPETボトルが作れる。

世の中ではリサイクルしてはいけないという人もいらっしゃるんですが、ここですごいエネルギーとコストがかかるのでよろしくないとおっしゃっています。しかし、私どもの研究としてやっている範囲ではこのくらいは下がるとみんな納得しています。

6.まとめ

今日はPETボトルのリサイクルの実態というのを一度知ってほしいなと思ってお話ししました。容り法とのつながりがまだわからないかもしれませんが。世の中の実態はこうなっていて、これをどうするかというのが容り法で決められています。最後に容り法って実はお金のことしか決めてないのです。実際は費用負担のことばかりが書かれていて問題になっています。お金が高く入札できるほうが買えるという仕組みなので、仕組み上問題があると思われています。あと、中国との競争上の問題とかが出てきてしまっているんで、たいへん複雑な問題をはらんでいます。

ということで、今日は技術的なところと、技術的な面からの評価をさせていただきました。来週はこの続きともう少し進んだ議論をしていきたいと思っています。

Q&A 2

質問とかあったらぜひ。あるいは来週もうちょっとこういうこと教えて欲しいとかがあれば。

Q.PET ボトルのふたがかぶさる部分が白い時と透明なときがあるのは何故ですか？

A.よくある質問ですが、あの白い部分も実は PET です。プラスチックって言っても一種の材料なので、加熱することもあります。加熱すると PET ボトルの結晶ができます。結晶になると透明じゃなくて白くなってしまいますのですよ。よくあるのは、頭の白い部分がまずいんでないかといわれるがそれは違う。ちゃんと PET としてリサイクルできますよ。

Q.さっきの LCA のエネルギーの表で輸送方法によってエネルギーが変わるといっていましたがこの場合はどういう輸送方法なのですか？

A.この場合はですね、たとえば 50 kg 運ぶとかたとえばトラックで運ぶとか決めていきます。で、現実の世界では、たとえばその他プラっていう世界では北海道から川崎まで運ぶとかあるので仕組みごとに計算しなければならない。しかし、今の LCA では代表的な距離をトラックで運ぶという仮定をしています。輸送のことについてちゃんと書いていませんが輸送方法によって答えに影響してきます。ただ、現実問題として実はあんまり輸送は効かないですね。化学プラントで使うのに比べれば、輸送はそんなに影響が大きいというのがプラスチックのリサイクルでは経験的に分かっているの。まあ、無視できるものではないですが。今のやり方では入札して安ければ買ってしまうので、遠くなるということも起きえます。

Q.LCA でリサイクルをする際に必要なエネルギーとかを突き止めていくと際限がないような気がするんですけど。

A.すごい質問です、それが LCA の限界なんですけど、たとえば電力で行くと東京電力で作った電力っていうのは石油と石炭でどれくらいの比率でやっているかはわかっていて、どのくらい CO₂ を出しているのはわかっているのですね。1 MJ というところで LCA が終わっているんですけど、電力ができるまでというところで平均として入れています。

Q.それは LCA を行う研究者の統一見解としてあるのですか？

A.統一見解としてはなくて、正しいやり方としては、たとえばここで切ってしまうとこのくらい、たとえば電力の話だと石油を運んでくるところは入っていないんですけど、それを入れるとどのくらい結果に影響するかっていうのを確認した上で、入れるか入れないか

決めなければならないというのが正式なやり方です。電力が影響しないものも、大きく影響するものもあるということです。モノによって変わります。それは輸送のときにもいえ、輸送には車も作らなくてはいけませんよね、道路も作りますよね。それをどうするかということです。実際はほとんど効かない。1, 2例の検証があってそれで経験的に知っています。それ以上はやる意味がないだろうというところでカットオフしています。統一見解があるというのではなく、物事にこれを入れないと嘘が入っちゃうということも確かめながらやっていくということになっています。実は難しい問題です。LCAの一番難しいところです。いちばんよくいわれるのは、リサイクルの現場で働いている人が出すCO₂はどうなるのかということです。まあ、それはリサイクルしなくてもその人はCO₂を排出するので、リサイクルに伴う負荷ではないということで切り捨てるのが一般見解です。

Q,ケミカルリサイクルでNO_x,SO_xの出方が違うのは?

A,ちょっと協説明しなかったところなのですけれども、これ実はCR1とCR2っていうものはですね、2種類の会社の違いなのです。これはなぜか?単純です。こちらの会社は燃料が都市ガス、つまり天然ガスです。こちらの会社は燃料が石炭です。純粋にエネルギーを見ると一緒ですが、同じエネルギーを得るために燃やせば、当然石炭のほうがカスが多いから格段に増えますね。こちらは天然ガスなので、格段に排気ガスがきれいです。だから、エネルギーに対するCO₂の量とかも大きく変化しています。石炭燃やしたほうがカーボンの燃焼なのでCO₂がたくさん出ます。天然ガスのほうは、水素を燃やす分がはいっていますので、CO₂,NO_x,SO_xの効率が明らかに違う。もちろんこれは排ガス処理の仕方に依存するので推定なのですけど。

Q,そうするとコスト的には燃料によって変わりますよね?だから、どういう力学が働くかということなのですけどコスト重視か、全体として環境に配慮する考えが企業にあるかどうかということですよ。

A,ほんとにそうだと思います。燃料はコスト的には石炭のほうが安いのでこちらを選択するはず。エネルギーだけの表を見せられるとなんの差もないように見えるのですけれどもここまでブレイクダウンされたときにその企業が何をやっているかということがすぐわかります。最近生分解性プラスチックを作っているアメリカの会社が、電力を全部風力にしたので、CO₂排出は0だと主張するのですよね。それは確かにそうかもしれないという話がありました。

Q,ベールの価格っていうのは、どこでまるとはですか?それはいろんなことに波及して行くと思うのだけど。市場があるわけではないのですか?

A,今日はお金の話は口でただけですけど、市場があるんですよ。市場っていうのは、中国が参入してお金を出しても買いますという状況になってきているわけですよね。中国では実は純品のPET樹脂と同じようにものを作っているわけです。そうすると、石油からできている樹脂よりやすいのですよね、日本からの輸送料込でも。とてもじゃないが金出して買える状況ではないのですけれども日本も、入札では事実の差を全く気にしないので中国が出せば出さざるを得ないのです。